

А. А. Лопато

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научные руководители: Л. И. Евминов, Т. В. Алферова

Во многих странах мира признано целесообразным проводить модернизацию системы заземления нейтрали сетей 6–35 кВ путем заземления ее через резистор или через резистор и дугогасящую катушку (ДГК), т. е. переходить на резистивное заземление нейтрали.

Способ заземления нейтрали через резистор позволяет наиболее просто решить две важные технологические задачи: представляется возможным определить поврежденное присоединение и незамедлительно принять меры по устранению повреждения; создаются предпосылки для выбора простой токовой релейной защиты, действующей либо на сигнал, либо на отключение.

Кроме того, заземление нейтрали через резистор позволяет снижать уровень дуговых, феррорезонансных и коммутационных перенапряжений. При этом появляется возможность защиты оборудования подстанции с помощью ОПН с более низким остаточным напряжением при коммутационном импульсе.

Заземление нейтрали через резистор способствует повышению уровня электробезопасности для людей и животных в результате быстрого устранения повреждения, или отключения поврежденного присоединения. Другими словами, использование резистивного заземления нейтрали повышает надежность работы сети.

Нейтрали сетей 6–35 кВ заземляются через резистор на питающих подстанциях.

При резистивном заземлении нейтрали сетей 6–35 кВ включение резистора в нейтраль может осуществляться четырьмя способами с помощью специального трансформатора заземления нейтрали ТЗН со схемой соединения обмоток Y/Δ . Такой способ используется на стороне низкого напряжения подстанции, где вторичная обмотка силовых трансформаторов на этой подстанции соединена в Δ и нейтраль не выделена; с помощью трансформаторов собственных нужд на напряжения 3, 6, 10 кВ, в которых нейтраль в первичной обмотки выведена наружу. Такой способ используется на подстанциях, на которых установлены специальные трансформаторы собственных нужд с выведенной нейтралью в первичной обмотке. Практически на всех подстанциях Республики Беларусь такие трансформаторы не применяются; резистор подключается непосредственно к нейтрали среднего напряжения (35 кВ), выведенной на крышку трехобмоточного трансформатора. Такой способ рекомендуется использовать на под-

станциях, на которых установлены трансформаторы такого типа; с помощью фильтра нулевой последовательности типа ФМЗО. Такой способ также может использоваться на подстанциях, в которых вторичная обмотка силовых трансформаторов соединена Δ и нейтраль не выделена. Выбор типа резистора производится по трем основным критериям: резистор должен обеспечивать снижение уровня перенапряжений, основными из которых являются дуговые перенапряжения; при заземлении нейтрали через резистор должны соблюдаться условия электробезопасности для людей при однофазных замыканиях на землю на подстанциях и распределительных пунктах с учетом существующего нормирования величины допустимого напряжения прикосновения; сопротивление резистора в нейтрали должно обеспечивать протекание активного тока в поврежденном присоединении величиной, достаточной для организации токовых защит на сигнал, или на отключение поврежденного присоединения.

Основным параметром резистора, который определяет его физическую сущность, является активное сопротивление резистора R_p .

При низкоомном заземлении нейтрали сопротивление резистора должно способствовать разряду емкости неповрежденных фаз за время бестоковой паузы (примерно равное полупериоду промышленной частоты), что исключает возможность развития перенапряжений. При этом величина тока однофазного замыкания на землю в месте замыкания по условиям снижения уровня перенапряжений и обеспечения условий электробезопасности должна быть в пределах допустимой для сети с изолированной нейтралью, но быть достаточной для нормальной работы РЗА по обнаружению поврежденного присоединения. Величина резистора R_p определяется условием

$$R_p \leq (2,5Z_B + R_{C.H}), \text{ Ом}, \quad (1)$$

где Z_B – волновое сопротивление, Ом; соответствует максимальной величине волнового сопротивления жилы кабеля для кабельных линий и провода для воздушных линий, которая принимается равной:

– для кабельных и смешанных линий:

$$Z_B = 100 \text{ Ом}, \quad (2)$$

– для воздушных линий:

$$Z_B = 500 \text{ Ом}, \quad (3)$$

$R_{C.H}$ – емкостное сопротивление некомпенсированной сети, Ом; определяется следующим образом:

$$R_{C.H} = \frac{U_\Phi}{I_C}, \text{ Ом}, \quad (4)$$

где I_C – емкостной ток сети, А; U_Φ – фазное напряжение сети, В, которое вычисляется по формуле

$$U_\Phi = \frac{U_H}{\sqrt{3}}, \text{ В}, \quad (5)$$

где U_H – номинальное напряжение сети, кВ.

Емкостной ток сети равен сумме емкостных токов всех присоединений и определяется по следующей формуле:

$$I_C = \sum_{i=1}^N I'_{Ci} \cdot l_i, \text{ А}, \quad (6)$$

где I'_{Ci} – удельный емкостной ток i -го присоединения, А/км; l_i – длина i -го присоединения, км; N – число присоединений, шт.; i – текущий индекс суммирования.

Средние значения удельного емкостного тока I'_C для кабельных и воздушных линий приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Значения удельного емкостного тока I'_C для кабельных линий
напряжением 6, 10, 35 кВ**

Номинальное сечение жил кабеля, мм ²	Значение тока I'_C , А/км		
	6 кВ	10 кВ	35 кВ
10	0,33	0,46	–
16	0,37	0,52	–
25	0,46	0,62	–
35	0,52	0,69	–
50	0,59	0,77	–
70	0,71	0,9	3,7
95	0,82	1	4,1
120	0,89	1,1	4,4
150	1,1	1,3	4,8
185	1,2	1,4	5,2
240	1,45	1,7	5,4

Таблица 2

**Значения удельного емкостного тока I'_C для воздушных линий
напряжением 6, 10, 35 кВ**

Характеристика линии	Значение тока I'_C , А/км		
	6 кВ	10 кВ	35 кВ
Одноцепная без троса	0,013	0,0256	0,078
Одноцепная с тросом	–	0,032	0,091
Двухцепная без троса	0,017	0,035	0,102
Двухцепная с тросом	–	–	0,11

Также значения удельного емкостного тока I'_C могут быть определены по формулам:

– для кабельных линий:

$$I'_C = \frac{U_H}{10}, \frac{\text{А}}{\text{км}}; \quad (7)$$

– для воздушных линий:

$$I'_C = \frac{U_H}{350}, \frac{\text{А}}{\text{км}}. \quad (8)$$

Для выбора трансформатора заземления нейтрали сначала необходимо найти ток в нейтрали сети по следующей формуле:

$$I_N = \frac{U_\Phi R_C}{R_C(Z_N + Z_\Pi) + jZ_N Z_\Pi}, \text{ А}, \quad (9)$$

где U_Φ – фазное напряжение сети, В; R_C – емкостное сопротивление некомпенсированной сети, Ом; Z_N – сопротивление заземления нейтрали, Ом; Z_Π – сопротивление цепи тока замыкания на землю, Ом.